

B E S C H R E I B U N G

5

Verfahren und Vorrichtung zur Herstellung von Korpuskularstrahlssystemen

- 10 Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Herstellung von Korpuskularstrahlssystemen gemäß der im Anspruch 1 angegebenen Art und eine entsprechende Vorrichtung gemäß der im Anspruch 20 angegebenen Art.
- 15 Korpuskularstrahlssysteme umfassen insbesondere Elektronenstrahl- oder Ionenstrahlssysteme. Im folgenden werden beispielhaft Elektronenstrahlssysteme, deren Anwendungen und Nachteile erläutert. Dies ist jedoch nicht einschränkend zu verstehen. Vielmehr gelten die
- 20 folgenden Erläuterungen ebenso für andere Korpuskularstrahlssysteme wie beispielsweise die erwähnten Ionenstrahlssysteme.
- Elektronenstrahlssysteme werden beispielsweise in der
- 25 Halbleitertechnologie, Nanoanalytik, Bio-Nano-Physik, Mikro-Optik und Nano-Elektronik eingesetzt. Sie können insbesondere zur Herstellung von Nanostrukturen wie zum Beispiel der Elektronenstrahl-induzierten lithographischen Nanostrukturierung von Oberflächen
- 30 angewandt werden. Ionen- und Elektronenstrahlssysteme werden auch zur Reparatur von Photomasken, phasenschiebenden Photomasken und NGL-Masken für die Halbleiterindustrie verwendet. Mit Elektronenstrahlen können auch integrierte Schaltungen direkt auf einen

Halbleiterwafer geschrieben und auch dort repariert werden. Vorzugsweise wird dies bei integrierten Schaltungen mit Strukturabmessungen im nm-Bereich praktiziert, wo die bisher eingesetzte Optische und Ionenstrahl-Lithographie an physikalische Grenzen stößt.

Ein Elektronenstrahlsystem umfasst eine Vielzahl von elektronischen Komponenten, wie beispielsweise eine Strahlstromstabilisierung, eine Strahlablenkung, eine Fokussierungsautomatik mit Hilfe von programmierten Sequenzen, eine Elektronenstrahl-Ablenkung und -Verstärkung und eine Sekundärelektronenstrahl-verstärkung. Diese Komponenten werden bisher überwiegend in Form von Einzelplatinen mit diskreten Schaltkreisen aufgebaut, die derart programmierbar sind, dass die vorgenannten Funktionen ausgeführt werden können.

Um Elektronenstrahlsysteme zu verkleinern, ist es bekannt, Einzelelemente von Elektronenstrahlsystemen mittels Elektronenstrahl-induzierter Deposition aufzubauen, wie beispielsweise der Aufbau von Feldelektronenemittern, Feldemissionskathoden mit Extraktor und Fokussierlinsen sowie von Drahtlinsen für eine elektrostatische Fokussierung und Ablenkung. Die Herstellung einer elektrostatischen Miniaturlinse mittels Elektronenstrahl-induzierter Deposition ist beispielsweise in der DE 44 35 043 A1 beschrieben. Aus der DE 44 16 597 A1 ist es bekannt, für einen flachen Farbbildschirm parallel eine Vielzahl mikro-miniaturisierter Elektronenstrahl-Emittersysteme mit Hilfe einer korpuskularstrahlinduzierten Deposition auf einem mit Leiterbahnen konventionell strukturierten Grundmaterial aufzubringen.

Zur Miniaturisierung wurden Elektronenstrahlsysteme auch aus mechanischen Einzelteilen zusammengebaut, die aber nicht mit einer kalten Feldelektronenemission, sondern einer heißen Elektronenemission betrieben werden. Mittlerweile wurde auch damit begonnen, miniaturisierte Elektronenstrahlsäulen zu bauen. Verschiedene Forschungsgruppen beschäftigen sich auch damit, Elektronenquellen aus Kohlenstoff-Nanoröhren und anderen Emittern, wie z.B. dotierte Siliziumspitzen mit transistorgesteuertem Emissionsstrom aufzubauen, die auf einem Halbleiterchip in einer Prozessschrittfolge hergestellt werden.

15 Nachteilig an den vorgenannten Verfahren ist jedoch, dass die Erzeugung einer Vielzahl von miniaturisierten Korpuskularstrahlsystemen sehr lange dauert, d.h. eine sehr lange Produktionszeit benötigt, da jedes System einzeln sukzessive aufgebaut bzw. erzeugt wird.

20 Nachteilig ist auch, dass die Herstellungsprozessschritte der Halbleiterfertigung so großen Toleranzen unterliegen, dass eine gleichartige Emissionscharakteristik der Feldemitter nicht erreicht wird.

25 Aus der DE 196 09 234 A1 ist ein gattungsgemäßes Verfahren zur Herstellung von Korpuskularstrahlsystemen sowie eine Vorrichtung zur Herstellung von Korpuskularstrahlsystemen bekannt. Die Vorrichtung besteht dabei aus einer oder mehreren parallel

30 geschalteten Feldemissions- oder Feldionisation-Katoden für Elektroden oder Ionen, einer Gitterelektrode mit einer oder mehreren ringförmigen Öffnungen und einer oder mehreren Anoden. Alle Elektroden werden mit Hilfe der Korpuskularstrahl-Litographie mit indizierter

35 Deposition nacheinander oder gleichzeitig auf einer die

Spannungen zuführenden planaren Leiterbahnstruktur aufgebaut. Der Elektrodenabstand wird dabei so klein gewählt, dass im Mittel nur eine mittlere freie Weglänge der Moleküle bei Normaldruck zwischen die
5 Emitter und Anoden-Elektrode passt. Mit der Korpuskularstrahl-indizierten Deposition können leitfähige und isolierende Drähte in der Ebene und im Raum aufgebaut werden. Mit der Deposition, die Rechner gesteuert abläuft, werden also dreidimensionale
10 Strukturen hergestellt, die als Elektrode für Mikro-Röhren und Röhrensysteme dienen, die einzelne Strahlen erzeugen, oder die vielfach nebeneinander hergestellt werden können.

15 Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es, ein Verfahren zur Herstellung von Korpuskularstrahlssystemen und eine entsprechende Vorrichtung anzugeben, welche den Aufbau einer Vielzahl von miniaturisierten
20 Korpuskularstrahlssystemen in kürzerer Zeit ermöglichen.

Diese Aufgabe wird durch ein Verfahren zur Herstellung von Korpuskularstrahlssystemen mit den Merkmalen nach
25 Anspruch 1 und durch eine entsprechende Vorrichtung mit den Merkmalen nach Anspruch 20 gelöst. Bevorzugte Ausgestaltungen der Erfindung ergeben sich aus den abhängigen Ansprüchen.

30 Ein wesentlicher Gedanke der Erfindung besteht darin, eine große Anzahl von miniaturisierten Korpuskularstrahlssystemen durch eine Art Selbstreproduktion zu ermöglichen. Dies kann dadurch erreicht werden, dass bereits erzeugte
35 Korpuskularstrahlssysteme zum Erzeugen weiterer

Korpuskularstrahlssysteme mittels
korpuskularstrahlinduzierter Deposition eingesetzt
werden.

5 Beispielsweise können gemäß der Erfindung mit Hilfe
der Elektronenstrahl-induzierten Deposition unter
Rechnerführung miniaturisierte Elektronenstrahlssysteme
in großer Zahl hergestellt werden. Als Basis und
Grundlage kann hierbei eine durch Lithographie in
10 VLSI-Technik hergestellte Grundschialtung dienen, in
welche hinein mit der Elektronenstrahl-induzierten
Deposition die Funktionselemente für ein weiteres
miniaturisiertes Elektronenstrahlssystem aufgebaut
werden. Dieses miniaturisierte System wird dann,
15 nachdem es eine Funktionsprüfung bestanden hat,
weiterverwendet, um wiederum in einen ebenfalls vorher
vorbereiteten Basis-Chips hinein durch
Elektronenstrahl-induzierte Deposition die
funktionellen Elemente für ein gleichartiges
20 Elektronenstrahlssystem aufzubauen. Eine wesentliche
Eigenschaft des Elektronenstrahlsystems besteht darin,
einen feinen Elektronenstrahl auf ein Substrat zu
fokussieren und dort durch Zufuhr von
organometallischen Verbindungen wiederum Strukturen
25 durch Elektronenstrahl-induzierte Deposition zu
erzeugen. Das erfindungsgemäße Verfahren zur
Selbstreproduktion von Elektronenstrahlssystemen kann
nun in einem ersten Schritt zur Verdoppelung der Anzahl
von Elektronenstrahlssystemen den vorher beschriebenen
30 Prozess nutzen, a) um eine Tochtergeneration von
Elektronenstrahlssystemen zu erzeugen und b) um die
„Tochter“- Elektronenstrahlssysteme zusammen mit dem
„Mutter“- Elektronenstrahlssystem parallel einzusetzen,
um daraufhin eine zweite Töchtergeneration von nunmehr

zwei Elektronenstrahlssystemen parallel aufzubauen.
Diese neu aufgebauten Elektronenstrahlssysteme werden
dann wieder zu den bereits bestehenden
Elektronenstrahlssystemen parallel geschaltet, wodurch
5 vier Elektronenstrahlssysteme erhalten werden, die
gemeinsam eingesetzt werden, um in vorbereitete Basis-
Chips auf einem Substrat Funktionselemente von weiteren
vier Elektronenstrahlssystemen parallel und gleichzeitig
aufzubauen, und so fort.

10

Mit der Erfindung wird die Möglichkeit eröffnet, ein
exponentielles Wachstum der Anzahl der
Korpuskularstrahlssysteme zu erzielen. Beispielsweise
werden nach fünf Generationen 32 funktionsfähige
15 miniaturisierte Korpuskularstrahlssysteme erhalten, die
erprobt und funktionsbereit sind. Nach zehn
Tochtergenerationen sind bereits 1024 derartige
miniaturisierte Systeme und nach 20 Tochtergenerationen
1 Mio. funktionierende Korpuskularstrahlssysteme
20 erhalten worden. Insbesondere schaltet man die derart
erzeugten Korpuskularstrahlssysteme in einen Block
zusammen und setzt sie als Strahlmatrix mit z.B. bis zu
1 Mio. parallel produktiv wirkenden Korpuskularstrahlen
ein, so erhält man mit Vorteil neuartige
25 Produktionsgeräte zur Herstellung von in der
Einzelherstellung zu teuren neuen Produkten. Dies wird
durch die Tatsache verursacht, dass im Einzelstrahl-
Herstellungsverfahren die Produkte eine hohe
Herstellungszeit haben und damit hohe Herstellungs-
30 Elektronenstrahl-Maschinenkosten von z.B. mehreren
Minuten und damit nur unwirtschaftlich hergestellt
werden könnten. Beispiele solcher Produkte sind eine
Widerstandsmatrix der Detektorelemente für eine flache

Kamera für Multimedia-Anwendungen oder eine Emitter-
und Extraktor-Anordnung für die
Bildpunkt-Strahlungsquellen für flache
Feldemitterelektronenquellen, die in Flachbildschirmen
5 Verwendung finden, und die auch mit Vorteil in einem
Hochstrom-Schalter mit niedriger Schaltspannung für die
Energieübertragungstechnik Anwendung finden.

Konkret betrifft die Erfindung ein Verfahren zur
10 Herstellung von Korpuskularstrahlssystemen, bei dem auf
einem ersten Substrat mindestens ein erstes
Korpuskularstrahlssystem mittels
korpuskularstrahlinduzierter Deposition und auf
mindestens einem zweiten Substrat mindestens ein
15 zweites Korpuskularstrahlssystem von dem mindestens
einen ersten Korpuskularstrahlssystem mittels
korpuskularstrahlinduzierter Deposition erzeugt wird.

Anschließend kann auf dem ersten Substrat mindestens
20 ein weiteres erstes Korpuskularstrahlssystem von dem
mindestens einen zweiten Korpuskularstrahlssystem
mittels korpuskularstrahlinduzierter Deposition
erzeugt werden.

25 Vorzugsweise werden abwechselnd erste und zweite
Korpuskularstrahlssysteme von den bereits auf den
Substraten existierenden zweiten bzw. ersten
Korpuskularstrahlssystemen erzeugt.

30 Insbesondere werden ein erstes und ein zweites
Substrat derart zueinander versetzt angeordnet, dass
den auf einem Substrat bereits existierenden
Korpuskularstrahlssystemen freie Flächen des anderen
Substrats gegenüberliegen, so dass die
35 Korpuskularstrahlssysteme des einen Substrats

Korpuskularstrahlssysteme auf den freien Flächen des anderen Substrats erzeugen können.

5 Um die für die Herstellung erforderliche Genauigkeit zu erzielen, werden die Substrate vorzugsweise von einem Rechner gesteuert positioniert.

10 Eine besonders hohe Positionierungsgenauigkeit ermöglichen Piezoelemente, mit denen insbesondere über einen x-y-z-Verschiebetisch die Substrate zueinander positioniert werden können. Auch mechanische Verschiebetische, die mit Linearmaßstäben in ihrer Bewegung verfolgt werden erfüllen die Präzisionsanforderung für die Platzierung der System-
15 Komponenten.

Jedes Korpuskularstrahlssystem wird vorzugsweise nach seiner Erzeugung elektrisch getestet, um mögliche Defekte bereits während des Herstellungsprozesses zu
20 erkennen.

In einer bevorzugten Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens werden vor der Erzeugung von Korpuskularstrahlssystemen auf den Substraten
25 Schaltungselemente, insbesondere Verdrahtungselemente erzeugt, mit denen die erzeugten Korpuskularstrahlssysteme zumindest teilweise elektrisch verbunden und angesteuert werden.

30 Insbesondere werden Korpuskularstrahlssysteme auf Anschlusspunkten, die auf einem Substrat vorgesehen sind, erzeugt.

35 Eine besonders effiziente Herstellung kann dadurch erzielt werden, dass Korpuskularstrahlssysteme auf einem Substrat kammartig nebeneinander angeordnet

werden. Insbesondere bestehen wegen der geringen Abmessungen der Systeme Abstände von weniger als 50 µm zwischen den Systemen.

5 Dabei werden die Zwischenräume zwischen den Systemen mit Vorteil für die elektrostatische Abschirmung der Einzelsysteme gegeneinander mit Hilfe von auf definiertem Gleichspannungs- oder
10 Wechselspannungspotential liegenden Elektroden und Leiterbahnen verwendet.

Vorzugsweise führen erste und/oder zweite Korpuskularstrahlssysteme eine Bildauswertung von Bildsignalen durch, die durch Rasterung erzeugt
15 werden, um den Produktionsprozess visuell zu überwachen.

Sowohl Fokussierung, Stigmatisierung und Ablenkung eines Korpuskularstrahls werden vorzugsweise in einem
20 automatischen Ablauf erfolgen und für jedes Korpuskularstrahlssystem kann eine individuelle Fokussierung durchgeführt.

Die Deposition wird in einer bevorzugten
25 Ausführungsform mit Ionenstrahlinduzierter Deposition durchgeführt. Alternativ dazu wird die Deposition mit Elektronenstrahlen verwendet.

Vorzugsweise erfolgt die Deposition für das erste
30 herzustellende Korpuskularstrahlssystem mit Rastersondenmikroskopischer Deposition mit Niederspannung beispielsweise von etwa 100 V bis etwa 40 kV.

Die Korpuskularstrahlsysteme werden vorzugsweise in Gruppen von einem Steuersystem umfassend eine Steuer- und Programmierelektronik angesteuert und kontrolliert.

5

Bis zu einer bestimmten Anzahl ist es vorteilhaft, die Korpuskularstrahlsysteme vollständig konfiguriert aufzubauen und dann durch geeignete Zuführung von Gasen zum Aufbau weiterer Korpuskularstrahlsysteme als parallel arbeitende Blöcke von Korpuskularstrahlsystemen einzusetzen.

Insbesondere werden Einzelkämme von Korpuskularstrahlsystemen reproduziert und zu Fertigungssystemen zusammengesetzt.

Die Blöcke können hierbei gemeinsam produziert werden, ohne dass sie weiterhin zusammengesetzt werden müssen.

In einer besonders bevorzugten Ausführungsform sind die Korpuskularstrahlsysteme mit ihren Korpuskularstrahl-Achsen etwa senkrecht zur Oberfläche des Substrats oder der Substrate angeordnet. Insbesondere umfassen die Korpuskularstrahlsysteme eine oder mehrere Feldemitter-Elektronenquelle(n) mit wenigstens einem Extraktor, welcher als Rundlinse oder Quadrupol aufgebaut ist, und einer Fokussierungslinse, welche ebenfalls als Rundlinse oder Quadrupol aufgebaut ist. Die Anordnung aus den Rundlinsen bzw. Quadrupolen ermöglicht eine Steuerung des Emissionsstromes, die Fokussierung und die Ablenkung des Korpuskularstrahles in x-y-Richtung durch eine rechnergesteuerte Einstellung der Versorgungsspannung der Rundlinsen- bzw. Quadrupol-Elektroden.

35

Insbesondere kann das Rundlinsen- bzw. Quadrupolsystem durch Wahl der Spannungen an den Elektroden den Korpuskularstrahl an- und abschalten. Durch Anlegen der Ablenkspannungen an den Extraktor und die
5 Fokussierlinse wird zudem der Elektronenstrahl zeilenförmig gerastert, im Spiral-Raster oder mit anderen zufälligen oder gezielt gewünschten Koordinaten-Werten oder gezielt von Punkt zu Punkt bewegt.

10 Vorzugsweise sind um ein Korpuskularstrahlsystem Drähte, die Sekundärelektronen detektieren, und/oder Metall-Flächen angeordnet, welche die von dem Primärstrahl bzw. Korpuskularstrahl auf dem
15 gegenüberliegenden Substrat erzeugten Sekundärelektronen aufnehmen. Die Drähte bzw. Metall-Flächen verstärken die Sekundärelektronen in der Ausführungsform eines offenen Multipliers und führen sie einem Bildsignal-Anzeigegerät synchron zur
20 Ablenkung oder einer Anzeige zu.

Insbesondere werden die Bildsignale und Sekundärsignale der Sekundärelektronen zur Prozeßsteuerung und Bildanzeige verwendet.

25 Die Strahlen der Korpuskularstrahlsysteme werden vorzugsweise zum Aufbau weiterer Korpuskularstrahlsysteme, Tochtersysteme oder Strahlquellen verwendet, die insbesondere auf einer in
30 einem vorgegebenen Abstand angeordneten, über einen x-y-z-Verschiebetisch positionierbaren vorstrukturierten Halbleiterschaltung hergestellt werden. Die Halbleiterschaltung wird hierbei vorzugsweise durch Vorstrukturierung mit Anschlüssen, Depositions-
35 Fusspunkten und Systemelektronik in Form von Halbleiterschaltungen hergestellt.

Insbesondere ist eine erzeugte neue Tochterstruktur gleichartig zur Vervielfältigung der Mutter-Anordnung ausgeführt.

5

In einer bevorzugten Ausführungsform ist die Tochterstruktur andersartig, aber ebenfalls korpuskularstrahl-spezifisch aufgebaut, um andersartige Korpuskularstrahl-Anwendungen in
10 mehrfacher Form auf den Substraten zu erzeugen und zur Funktion zu bringen, z.B. die vom Erfinder patentierten Mikroröhren für Elektronenverstärker im THz-Bereich, für Schaltungen für Bit-Fehler-Raten Messplätze für die Telekommunikation im oberen GHz
15 Bereich oder für Hochstrom-Elektronenquellen für die schnelle leistungsarme Schaltung von sehr hohen Strömen für die Energieverteilung.

20 Um die Deposition überall in gleicher Weise zu ermöglichen werden die zur Deposition erforderlichen Gase vorzugsweise zwischen gegenüber angeordneten Substraten mit ausreichend hohem Druck eingebracht.

25 Um zu verhindern, dass bei der Deposition auf der Tochterebene erzeugte Ionen auf der Mutterebene Deponieren, und umgekehrt, wird bei der Wahl der Spannungen in den Systemen Sorge getragen, dass ein Ionenspiegel-Effekt eintritt, welcher diese Ionen von
30 den empfindlichen Strukturen der Mutter-Ebene repsektive Tochterebene fern hält und sie durch Verwendung geeigneter Potentiale gezielt auf dafür vorgesehenen geeigneten Stellen sammelt und unschädlich macht. Solche Stellen sind zum Beispiel
35 Linsenelektroden oder vorgefertigte Auffangflächen,

die auf gegenüber dem Auftreff-Ort der
Primärelektronen negativem Potential liegen.

Die Substrate werden vorzugsweise rechnergesteuert
5 gegeneinander verschoben, so dass ebenfalls auf den
Substraten befindliche und durch vorstrukturierende
Lithographie und Lithographieverfahren hergestellte
Teststrukturen es ermöglichen, erzeugte
Tochterstrukturen oder Spezialstrukturen in ihrer
10 Eigenschaft zu vermessen und zu kalibrieren.

Durch Verdoppelung der getesteten und gegebenenfalls
durch Reparatur wieder funktionsfähig gemachten
Strukturen werden diese in exponentiell wachsenden
15 Zahlen erzeugt.

Die vielfach erzeugten Korpuskularstrahlssysteme werden
vorzugsweise zur ökonomischen Herstellung von
einzelnen, von in Gruppen durch Aufteilung der Flächen
20 oder von flächigen Anordnungen derartiger Systeme
eingesetzt.

Gemäß einem weiteren Aspekt betrifft die Erfindung
eine Vorrichtung zur Herstellung von
25 Korpuskularstrahlssystemen mit einem ersten Substrat
und mindestens einem zweiten Substrat, wobei sich auf
dem ersten Substrat mindestens ein mittels
korpuskularstrahlinduzierter Deposition erzeugtes
erstes Korpuskularstrahlssystem befindet.

30 Insbesondere sind das erste und das mindestens zweite
Substrat derart zueinander versetzt angeordnet, dass
den auf einem Substrat bereits existierenden
Korpuskularstrahlssystemen freie Flächen des anderen
35 Substrats gegenüberliegen, so dass die
Korpuskularstrahlssysteme des einen Substrats

Korpuskularstrahlssysteme auf den freien Flächen des anderen Substrats erzeugen können.

- 5 In einer bevorzugten Ausführungsform zeichnet sich die Vorrichtung durch einen Rechner aus, der programmtechnisch eingerichtet ist, um die Anordnung der Substrate insbesondere über einen Verschiebetisch in x-y-z-Richtung zu steuern.
- 10 Ferner werden vorteilhafterweise Piezoelemente an den Substraten vorgesehen, um diese zueinander mit hoher Präzision elektrisch gesteuert und vermessen zu positionieren.
- 15 Während der Herstellung wird vorzugsweise die Funktionsfähigkeit der Korpuskularstrahlssysteme überprüft durch vorgesehene Testmittel, wie Bildwiedergabe, elektrische Strom- und Spannungsdetektion und Anzeige, und andere Anzeigen,
- 20 die zum Testen jedes Korpuskularstrahlssystems auf den Substraten ausgebildet und elektrisch angeschlossen sind.
- 25 In einer besonders bevorzugten Ausführungsform ist das erste und zweite Substrat ein Halbleiter, insbesondere Silizium. In diesem Fall werden mittels Halbleiterherstellungsverfahren, wie diese auch zur Produktion von integrierten Schaltungen angewandt werden, elektronische Komponenten auf den Substraten
- 30 für die Korpuskularstrahlssysteme erzeugt. Falls hohe Spannungen in den Korpuskularstrahlssystemen erforderlich sind, wird mit Vorteil die elektronische Steuer- und Vermessungs-Schaltung auf einem isolierenden Substrat wie Glas oder Keramik mit
- 35 Halbleitertechnischen Prozessen hergestellt.

Insbesondere wird vorteilhafterweise das Substrat
Schaltungselemente, insbesondere Verdrahtungselemente
aufweisen, mit denen Korpuskularstrahlsysteme
zumindest teilweise elektrisch verbunden werden.

5

Die Schaltungselemente sind beispielsweise
insbesondere rechnergesteuerte
Korpuskularstrahlstromregler, Heizstromregler,
Korpuskularstrahlablenkverstärker,
10 Blendenablenkverstärker, Rastergenerator,
Funktionsgenerator mit Speicher, Linseneinstellmittel,
Linsenspannungsverstärker, Bildsignalverstärker,
Astigmatismus-Spannungsverstärker und/oder
Ablenkungsspannungsverstärker.

15

Typischerweise weist ein Substrat mindestens eine
Fläche mit einer Breite von etwa 2 μm bis etwa 2500 μm
und einer Länge von etwa 10 μm bis zu etwa 100 mm für
ein Korpuskularstrahlsystem auf.

20

Ferner weist ein Substrat in einer bevorzugten
Ausführungsform Anschlusspunkte für
Korpuskularstrahlsysteme auf, beispielsweise
metallisierte elektrische Kontaktpunkte zum
25 Anschliessen von Komponenten der
Korpuskularstrahlsysteme.

25

Vorzugsweise sind Korpuskularstrahlsysteme auf einem
Substrat kammartig nebeneinander angeordnet, was
30 produktionstechnisch besonders vorteilhaft ist, da
sich die Substrate Seite an Seite anordnen lassen und
alle Korpuskularstrahlsysteme eines Substrats dann zur
Erzeugung von Korpuskularstrahlsystemen auf dem
gegenüberliegenden ebenfalls kammartigen Substrat
35 gleichzeitig arbeitend eingesetzt werden. Die
kammartige Anordnung unterstützt mit Vorteil die

Verbindungstechnik unter Verwendung von industriell
eingesetzten Platinenstecker-Buchsen zum Prüfen und
Betreiben der gefertigten Elemente

- 5 In einer bevorzugten Ausführungsform sind mindestens
ein erstes und mindestens ein zweites
Korpuskularstrahlssystem mit Mess- und
Stabilisatorschaltungen versehen, die zum Messen und
Stabilisieren von Korpuskularstrahlung dienen.
- 10 Es werden ferner in einer bevorzugten Ausführungsform
Schaltungselemente vorgesehen, welche die
Korpuskularstrahlssysteme mit Spannung und Strom
versorgen und es ermöglichen, diese mittels Speicher
15 programmierbar einzustellen. Dies ermöglicht den
Aufbau sehr flexibler, da programmierbarer
Korpuskularstrahlssysteme.
- 20 Vorzugsweise sind die Korpuskularstrahlssysteme mit
Mitteln versehen, die zum Ausführen eines
automatisierten Prüfverfahrens ausgebildet sind,
welches die Funktionsfähigkeit und Stabilität der
Strahlung und der Bildaufnahme und Bildauswertung
gewährleistet.
- 25 Die Korpuskularstrahlssysteme werden vorteilhafterweise
mit bildanzeigenden Mitteln verbunden, die in einem
Bildschirm oder Großbildschirm mit entsprechender
Bildaufteilung für die einzelnen
30 Korpuskularstrahlssysteme bestehen, so dass die Arbeit
des Systems überwacht und sein Ergebnis für
anderweitige Weiterverwendung zur Verfügung gestellt
wird.

Die bildanzeigenden Mittel weisen insbesondere dateninformationsreduzierende Routinen auf, um die Überwachung zu unterstützen und um zu gewährleisten, dass im Wesentlichen nur Fehler gespeichert werden müssen.

Vorzugsweise weisen die Korpuskularstrahlssysteme Elektronenquellen oder Gas- oder Flüssigkeitsionenquellen auf.

Schließlich betrifft die Erfindung die Verwendung des erfindungsgemäßen Verfahrens und/oder der erfindungsgemäßen Vorrichtung zur Herstellung von ebenen verteilten Bauelementen, insbesondere einer Widerstandsmatrix für eine flache Kamera, eines Flachbildschirms mit Korpuskularstrahlquellen, von Linsenarrays und einer Schreib-/Leseanordnung für einen Speicher, sowie andere bereits oben genannte Anwendungen.

Weitere Vorteile und Anwendungsmöglichkeiten der vorliegenden Erfindung ergeben sich aus der nachfolgenden Beschreibung in Verbindung mit den in der Zeichnung dargestellten Ausführungsbeispielen.

In der Beschreibung, in den Ansprüchen, der Zusammenfassung und in den Zeichnungen werden die in der hinten angeführten Liste der Bezugszeichen verwendeten Begriffe und zugeordneten Bezugszeichen verwendet.

In den Zeichnungen bedeutet:

- Fig. 1 eine schematische Darstellung einer
erfindungsgemäßen sukzessiven Herstellung von
miniaturisierten Elektronenstrahlssystemen mit
Hilfe vorgefertigter Schaltkreise und
Elektronenstrahl-induzierter Deposition zum
Aufbau funktionaler Gruppen von
Korpuskularstrahlssystemen,
- Fig. 2 eine schematische Darstellung eines einzelnen
Elektronenstrahlsystems, das auf einer
vorgegebenen Fläche auf einem Substrat durch
Elektronenstrahl-induzierte Deposition gemäß
der Erfindung aufgebaut wurde,
- Fig. 3 eine Seitenansicht eines
Elektronenstrahlsystems, dessen Strahlachse
senkrecht zum Substrat angeordnet ist,
- Fig. 4 eine perspektivische Ansicht des in Fig. 3
dargestellten Elektronenstrahlsystems,
- Fig. 5 die verschiedenen Potentiale im
Elektronenstrahl, der von dem in den Fig. 3
und 4 dargestellten Elektronenstrahlssystem
emittiert wird,
- Fig. 6 eine Draufsicht auf das in Fig. 3
dargestellte Elektronenstrahlssystem,
- Fig. 7 ein Gitter zur Ablenkkalibrierung und daneben
ein mittels Elektronenstrahl-Deposition

erzeugter Zylinderaufbau zur Bildung eines
Faraday-Käfigs zur Strommessung, und

Fig. 8 eine Detailansicht des in Fig. 7
5 dargestellten Gitters mit den in Fig. 7
dargestellten Zylinderaufbauten.

Im folgenden können gleiche und funktional gleiche
Elemente mit denselben Bezugszeichen versehen sein.

10

Eine Besonderheit des erfindungsgemäßen Verfahrens ist
durch den Einsatz einer rechnergesteuerten
Elektronenstrahl-induzierten Deposition gekennzeichnet.
So kann beispielsweise in ca. 20-30 Min. auf einem
15 vorbereiteten ersten Basis-Chip als erstes Substrat,
der Stabilisierungs-, Steuer-, Auswertungs- und andere
Schaltkreise aufweist, ein miniaturisiertes
Elektronenstrahlsystem hergestellt werden. Die hierfür
eingesetzte Herstellungstechnik ist eine Re-
20 paraturtechnik, welche die Korrektur und Fehlerbehebung
in den deponierten Strukturen ermöglicht. Mit dieser
Technik wird ein erstes Elektronenstrahlsystem
aufgebaut und danach durch Anlegen von erforderlichen
Versorgungsspannungen eingeschaltet. Nach dem
25 Einschalten erfolgt ein elektronischer Test des
erzeugten Systems.

Die durch Deposition gefertigten Elemente des ersten
Elektronenstrahlsystems wie elektrostatische Linsen und
30 ein Abbildungssystem, das mit einer Strahlablenkung und
mit oder ohne einer Aperturblende ausgerüstet ist,
ermöglichen eine Fokussierung mit hoher
Strahlstromdichte in einem geringen Arbeitsabstand.

Dadurch wird es ermöglicht, durch eine Elektronenstrahl-induzierte Deposition weitere Bauelemente von Elektronenstrahlsystemen auf einem zweiten Basis-Chip als zweites Substrat abzuscheiden.

5

Um ein zweites Elektronenstrahlsystem aufzubauen, wird der zweite Basis-Chip durch mechanische Platzierung bzw. Anordnung gegenüber dem ersten Basis-Chip mit nm-Präzision ausgerichtet. Durch bildverarbeitende Mittel werden dann im Mix- und Match-Verfahren die Elektroden des zweiten Elektronenstrahlsystems auf Nanometer genau platziert auf dem zweiten Basis-Chip hergestellt. So wird ein eine Quelle, einen Kondensor, eventuell eine Blende, ein Ablenksystem, eine Ablenklinse und einen Detektor umfassendes zweites Elektronenstrahlsystem erzeugt, das in seiner Gesamtgröße zwischen 1 und 100 μm lang ist.

Dieses miniaturisierte Elektronenstrahlsystem ermöglicht eine Fokussierung eines Elektronenstrahls durch die letzte Linse des Systems mit 20 bis 100 eV in einem Arbeitsabstand von einigen μm . Die Fokussierung kann dabei so fein werden wie bei einem herkömmlichen 20 kV-Elektronenstrahlsystem, da Linsenfehler der elektrostatischen miniaturisierten Linsen aus leitenden Drähten sehr viel kleiner sind, als die der herkömmlichen großen elektrischen und magnetischen Linsen in einem 20 kV-Elektronenstrahlsystem. Dementsprechend sind die Bildfehler um Größenordnungen kleiner. Ein derartiges miniaturisiertes Elektronenstrahlsystem ermöglicht daher bei ähnlich großer Apertur eine ähnliche Auflösung wie bei einem herkömmlichen etwa 1 m großen Elektronenstrahlsystem.

Die erfindungsgemäße Herstellung vieler
miniaturisierter Elektronenstrahlsysteme wird mit
Vorteil durch eine roboterartige Führung der Substrate,
5 auf denen die Systeme aufgebaut werden, verbessert.
Hierzu gibt es zwei unterschiedliche Verfahren.

Bei einem ersten Verfahren wird ein herkömmliches
Raster-Elektronenstrahlsystem verwendet, das mit einer
10 speziellen mehrkanaligen Gaszuführung zur Lieferung von
Präkursoren für die Deposition ausgerüstet ist. Das
Raster-Elektronenstrahlsystem erzeugt auf einem
spezifischen Basis-Chip eines ersten Substrats für ein
herzustellendes Elektronenstrahlsystem eine
15 Elektrodenkonfigurationen, eine Elektronenquelle,
eventuell eine Blende, eine Ablenklinse und einen
Detektor durch Aufwachsen in vorbereitete
Anschlusspunkte des spezifischen Basis-Chips. Dieses
Elektronenstrahlsystem wird nun verwendet, um auf einem
20 weiteren vorbereiteten Basis-Chip auf gleiche Weise,
nämlich durch Depositions-Schreiben senkrecht zum
Substrat ein zweites Elektronenstrahlsystem aufzubauen.
Beide Chips werden dann parallel angeordnet, mit
Spannung versorgt und zu einer Doppelschreibeinheit
25 verbunden. Mit einem derartigen Doppelsystem können
zwei weitere Elektronenstrahlsysteme aufgebaut werden.
Insgesamt können so 2^n Elektronenstrahlsysteme bei n
Systemgenerationen hergestellt werden.

30 Ein zweites Verfahren besteht darin, auf einem ersten,
kammartigen Substrat, das eine Vielzahl von kammartig
angeordneten Basis-Chips aufweist, mit einem Raster-
Elektronenstrahlsystem ein erstes

Elektronenstrahlsystem auf einem der Basis-Chips zu
erzeugen. Dem ersten Substrat wird dann ein zweites,
ähnlich kammartig ausgebildetes Substrat
gegenübergestellt, genauer gesagt in einem Winkel von
5 etwa 90° zum ersten Substrat angeordnet. Das zweite
Substrat wird dann mechanisch relativ zum ersten
Substrat derart bewegt, dass mittels des ersten
Elektronenstrahlsystems auf dem ersten Substrat die
Elektronenquelle, die Elektroden und weitere
10 Systemfunktionselemente eines zweiten
Elektronenstrahlsystems auf dem zweiten Substrat
erzeugt werden.

Wenn dieses zweite „Tochter“-Elektronenstrahlsystem
15 erzeugt ist, wird es ebenfalls wie das erste
Elektronenstrahlsystem mit Strom versorgt und dazu
benutzt, um auf einem zweiten Basis-Chip des ersten
Substrats ein weiteres erstes Elektronenstrahlsystem
aufzuschreiben, nachdem das erste Substrat mechanisch
20 relativ zum zweiten Substrat derart angeordnet worden
ist, dass dem zweiten „Tochter“-Elektronenstrahlsystem
eine freie Fläche bzw. ein Basis-Chip gegenüberliegt.

Danach befinden sich auf dem ersten Substrat zwei
25 parallel angeordnete Elektronenstrahlsysteme, die
wiederum zum Erzeugen zweier zweiter
Elektronenstrahlsysteme auf dem zweiten Substrat
verwendet werden. Hierzu schreiben die beiden
parallelen Elektronenstrahlsysteme des ersten Substrats
30 auf das etwa rechtwinklig zum ersten Substrat
angeordnete zweite Substrat zwei weitere Systeme, so
dass sich auf dem zweiten Substrat insgesamt drei
Systeme befinden. Diese drei Elektronenstrahlsysteme

werden wiederum dazu verwendet, auf das erste Substrat zusätzliche drei Elektronenstrahlsysteme zu erzeugen, so dass sich insgesamt fünf Systeme auf dem ersten Substrat befinden.

5

In Fig. 1 sind ein erstes und ein zweites Substrat 14 bzw. 16 dargestellt, auf denen sich erste bzw. zweite miniaturisierte Elektronenstrahlsysteme 10, 10', 10'', 10''', 10'''' bzw. 12, 12', 12'' befinden. Die beiden Substrate 14 und 16 sind kammartig ausgebildet, d.h. sie haben eine etwa rechteckförmige Ausbildung und sind in freie Flächen entsprechend Basis-Chips aufgeteilt, welche für Elektronenstrahlsysteme vorgesehen sind. Die Substrate 14 und 16 sind in einem Winkel von etwa 90° zueinander angeordnet. Ihre Position wird von einem (Steuer-)Rechner 20 kontrolliert, der Piezoelemente 22 und 24 zum exakten Ausrichten der Substrate 14 und 16 ansteuert. Damit ist eine Positionierung der Substrate 14 und 16 möglich, aber mit nm- Genauigkeit.

20

Die Elektronenstrahlsysteme 10-10'''' und 12-12'' wurden gemäß dem erfindungsgemäßen Verfahren folgendermaßen erzeugt: zuerst wurde mit einem nicht dargestellten Raster-Elektronenschreiber das erste Elektronenstrahlssystem 10 auf dem ersten Substrat 14 mittels Elektronenstrahl-induzierter Deposition hergestellt. Anschließend wurde das zweite Substrat 16 vom Rechner 20 über das Piezoelement 24 derart zum ersten Substrat 14 ausgerichtet, dass der Basis-Chip für das zweite Elektronenstrahlssystem 12 gegenüber dem ersten Elektronenstrahlssystem 10 angeordnet war. Danach erzeugte das erste Elektronenstrahlssystem 10 das zweite Elektronenstrahlssystem 12. Das zweite

Elektronenstrahlsystem 12 wurde nach Fertigstellung in Betrieb genommen und erzeugte nach erfolgreichem Test das erste Elektronenstrahlsystem 10' neben dem Elektronenstrahlsystem 10 auf dem ersten Substrat, nachdem der entsprechende Basis-Chip des ersten Substrats 14 gegenüber dem zweiten Elektronenstrahlsystem 12 plaziert worden war. Die beiden nebeneinander liegenden Elektronenstrahlsysteme 10 und 10' wurden dann zum gleichzeitigen Erzeugen der Elektronenstrahlsysteme 12' und 12'' nach entsprechender Positionierung der beiden Substrate 14 und 16 erzeugt. Schließlich deponierten die so erzeugten nebeneinander angeordneten drei Elektronenstrahlsysteme 12-12'' die Elektronenstrahlsysteme 10''-10''' gleichzeitig. In einem nächsten Schritt werden dann die Elektronenstrahlsysteme 10-10''' gleichzeitig fünf (nicht dargestellten) Elektronenstrahlsysteme auf dem zweiten Substrat 16 erzeugen. Die beiden Substrate 14 und 16 sind hierfür bereits entsprechend positioniert. Die Basis-Chips bzw. freien Flächen 18-18''' für die zu erzeugenden Elektronenstrahlsysteme auf dem zweiten Substrat sind noch frei.

Eine weitere freie Fläche am rechten Rand des ersten Substrats 14 zeigt schematisch Schaltungselemente 26, die für ein Elektronenstrahlsystem vorgesehen sind. Die Schaltungselemente 26 umfassen Verdrahtungselemente 28, insbesondere Leiterbahnen, und Anschlusspunkte 34, insbesondere freie Metallflächen. Die Anschlusspunkte 34 dienen zum Aufwachsen von Strukturen eines Elektronenstrahlsystems, beispielsweise von Linsen und Blenden. Die Verdrahtungselemente 28 dienen zum

elektrischen Verbinden von einem Elektronenstrahlsystem mit weiteren (nicht dargestellten) Schaltungselementen, beispielsweise Strom- oder Spannungsquellen.

5 In Fig. 2 ist ein vollständiges Elektronenstrahlsystem 30 auf einer Fläche 32 eines Substrats dargestellt, wie es durch das erfindungsgemäße Verfahren auf einem Basis-Chip erzeugt wurde. Der von dem System 30 erzeugte Elektronenstrahl trifft auf ein Objekt 36, das
10 beispielsweise ein weiterer Basis-Chip eines Substrats sein kann, auf dem ein weiteres Elektronenstrahlsystem aufgebaut werden soll. Das Objekt 36 ist etwa in einem Winkel von 90° zum System 30 angeordnet und befindet sich etwa im Brennpunkt des Elektronenstrahls 34.

15 Das dargestellte Elektronenstrahlsystem 30 umfasst einen Emitter 38 sowie ein Blenden und Linsensystem 40 mit einer Extraktor-Linse aus zwei ringförmigen Elektroden. Eine Blende ist nicht gezeigt. Diese müsste
20 in dem Raum zwischen Extraktorlinse und Ablenklinse angeordnet sein. Wegen der Anordnung der Feldelektronenquelle als Superspitze auf dem Emitterträger kann es ausreichend sein, die auf einen Emissionsort begrenzte Emission ohne zusätzliche Blende
25 vollständig zu verwenden, da dies durch die kleinen Linsenfehler der Extraktorlinse ermöglicht ist, ohne die Quelle in ihrer Größe und Emittanz wesentlich zu verschlechtern. Zudem kann der Fokus des Strahls durch den Rundlinsenteil der Ablenklinse geregelt werden. Ein
30 derartiges Elektronenstrahlsystem 30 wird dazu verwendet, ein „Tochter“- Elektronenstrahlsystem auf dem Objekt 36 mittels Elektronenstrahl-induzierter Deposition gemäß der Erfindung zu erzeugen.

Mit den oben beschriebenen Verfahren entsteht eine
spezielle mathematische Reihe von Wachstumszahlen und
von Elektronenstrahlssystemen, welche auch ähnlich dem
5 exponentiellen Wachstum zu einer Reproduktion von
vielen Elektronenstrahlssystemen führt. Das
erfindungsgemäße Verfahren hat den Vorteil, dass zwei
funktionsfähige Substrate sukzessive mit
Elektronenstrahlssystemen ergänzt aufgefüllt werden, und
10 zum Schluss sehr schnell voll gefüllte Substrate mit
Elektronenstrahlssystemen erhalten werden. Um
beispielsweise 64 oder 1024 oder gar 1 Mio. von
miniaturisierten Elektronenstrahlssystemen zu erhalten,
können die Substrate mit ihren parallel arbeitenden
15 Elektronenstrahlssystemen als ganzes eingesetzt werden
und neue „Tochter“-Elektronenstrahlssysteme auf einem
neuen Substrat gleichzeitig herstellen.

Das zweite Verfahren hat gegenüber dem ersten Verfahren
20 den Vorteil, dass die Substrate mit
Elektronenstrahlssystemen nicht in Einzelelemente
zerschnitten werden müssen. Außerdem ist mit Vorteil
die Verdrahtung der Versorgungsspannungen und anderer
parallel ablaufender elektrischer Steuerungs-Schritte
25 mit in das Substrat bei der Herstellung integriert.
Damit wird das Packaging von Einzelkomponenten
vermieden und die Zuverlässigkeit der Anordnung
wesentlich erhöht.

30 In Fig. 3 ist ein erstes Elektronenstrahlssystem 10 auf
einem ersten Substrat 14 in seitlicher Ansicht
dargestellt, dessen durch eine gestrichelte Linie
angedeuteter Elektronenstrahl etwa senkrecht zum

Substrat 14 verläuft. Der Elektronenstrahl des ersten Systems 10 baut auf einem zweiten Substrat 16, das dem ersten Substrat 14 gegenüberliegt, ein zweites Elektronenstrahlsystem 12 mittels Elektronenstrahl-induzierter Deposition auf. Zwischen den beiden plattenförmigen Substraten 14 und 16 befindet sich ein Gas, dessen Gaspartikel 58 für die Deposition erforderlich sind. Das Gas weist einen für die Deposition ausreichend hohen Druck zwischen den Substraten 14 und 16 auf.

Das erste Elektronenstrahlsystem 10 umfasst eine feine Metallspitze als Emitter 38 für Elektronen. Weiterhin weist das erste System 10 einen ersten Quadrupol mit den Quadrupol-Elektroden 44 und einen zweiten Quadrupol mit den Quadrupol-Elektroden 50 und 52 auf. Die entsprechend zum Quadrupol gehörigen weiteren zwei Elektroden in der zur Zeichenebene senkrechten Ebene durch die Strahlachse sind nicht gezeichnet, werden aber in den folgenden Figuren 4 im Schrägbild für den ersten Quadrupol und in Figur 6 mit ihren Fußpunkten an den Endpunkten der Anschlussleiterbahnen 43, 44, 46, 48 und 50 - 56 in der Anschlussstruktur dargestellt. Der erste Quadrupol 43, 44, (46, 48 nicht gezeigt) dient als Extraktor, um die vom Emitter 38 emittierten Elektroden zu beschleunigen. Der zweite Quadrupol 50, 52, (54, 56 nicht gezeigt) ist in Richtung vom ersten zum zweiten Substrat 14 bzw. 16 hinter dem ersten Quadrupol 43, 44 angeordnet und dient als Fokussierungslinse für den Elektronenstrahl. Mittels einer rechnergesteuerten Einstellung der Versorgungsspannung der Elektroden der beiden Quadrupole 43, 44, 50, 52 wird der Emissionsstrom des

Emitters 38, die Fokussierung und Ablenkung des Elektronenstrahls in x-y-Richtung ermöglicht, wobei die x-y-Ebene etwa parallel zu den Ebenen liegt, in welchen sich die Substrate 14 und 16 befinden. Fig. 4 zeigt das
5 in Fig. 3 dargestellte erste Elektronenstrahlsystem 10 in perspektivischer Ansicht. Neben den Elektroden 50, 52, 54, 56 des zweiten Quadrupols ist der Emitter 38 zu erkennen. Der erste Quadrupol von Fig. 3 ist in dieser Ansicht nicht dargestellt.

10

Fig. 5 zeigt das Potential eines von einem Emitter 38 emittierten Elektronenstrahls. An der Spitze des Emitters 38 herrscht ein Potential Q1. Wenn der Elektronenstrahl aus dem Elektronenstrahlsystem
15 austritt weist er ein Potential Q2 auf, das im Wesentlichen vom zweiten Quadrupol bestimmt wird. Der Elektronenstrahl trifft auf das zweite Substrat 16 mit einem Bremspotential auf. Diese Verzögerung der Primärelektronen bewirkt eine Beschleunigung der aus
20 dem Substrat ausgelösten Sekundärelektronen und bremst die dort ausgelösten Ionen, so dass sie nicht die Feldemissionskathode erreichen können. In einer weiteren vorteilhaften Ausführung können die Potentialwerte Q1 und Q2 auch vertauscht sein und
25 dennoch das Bremspotential erhalten bleiben.

In Fig. 6 ist das Elektronenstrahlsystem 10 in Draufsicht dargestellt. In dieser Darstellung sind alle Elektroden des Systems zu erkennen. Der erste Quadrupol
30 wird durch die Elektroden 43, 44, 46, 48 und der zweite Quadrupol durch die Elektroden 50, 52, 54, 56 gebildet. Die Ansteuerung der Elektroden ist beispielhaft für die Elektrode 48 dargestellt. Sie umfasst für die Elektrode

48 eine einstellbare Spannungsquelle 60, die über ein Strom-Messgerät 62 mit der Erde verbunden ist. Über die einstellbare Spannungsquelle 62 kann das Potential der Elektrode 48 eingestellt werden. Die Elektroden 50, 52, 54 und 56 werden auch als Fänger für Sekundärelektronen verwendet. Alle Signale der Elektroden 50, 52, 54 und 56 werden mit einem Summierverstärker anstelle dem Einzelnen Strom-Messgerät pro Elektrode, wie bei 48 exemplarisch dargestellt, addiert und zur Bildauswertung verwendet. Damit kann der Aufbau des zweiten Elektronenstrahlsystems 12 auf dem zweiten Substrat 16 visuell überwacht werden, indem ein mit der x-y Ablenkung synchron laufender Schreibstrahl einer Bildwiedergaberöhre in seiner Helligkeit mit dem verstärkten Sekundärelektronensignal moduliert wird.

Fig. 7 zeigt ein Gitter 64 zur Ablenkkalibrierung von Elektronenstrahlen. Dieses Gitter 64 kann auch zur Messung des Astigmatismus durch ein Moiré-Verfahren eingesetzt werden, indem die Elektronensonde unter einem sehr kleinen Winkel zur Gittersteg-Kante geführt wird und aus der Zahl der im Sekundärelektronensignal sichtbaren Querstege auf den benötigten Weg geschlossen wird, um die Sonde ganz auf den Steg zu fahren oder ganz vom Steg zu bewegen. Die Auflösung des Verfahrens ist proportional zu $1 / \text{Winkel}$ zwischen Sondenbewegungsrichtung und Gittersteg. Wie mit dem Gitter eine Messung und Kalibrierung des Astigmatismus erfolgt, ist in der Veröffentlichung „Metrology-Chip for Measurement of Diameter and Astigmatism of an Electron Beam with nm Resolution Using Moiré Amplification“, H.W.P. Koops, B.Hübner, M.Watanabe, Microelectronic Engineering 23 (1994) S.387-390,

genauer beschrieben. Das Gitter 64, das Quer- und
Längsstäbe 66 bzw. 68 umfasst, ist auf einem Substrat
angeordnet und dient im wesentlichen als
Kalibrieremuster und Detektorfläche zur Strommessung. Es
5 weist den in Fig. 7 rechts neben dem Gitter 64
dargestellten Zylinder 70 auf. Der Zylinder 70, dessen
Höhe sehr viel größer als sein Durchmesser ist, ist
mittels Deposition erzeugt worden. Der Zylinder bildet
einen Faraday-Käfig zur Strommessung und ist hierzu mit
10 Leiterbahnen 72 des Gitters 64 kontaktiert.

Die in Fig. 8 dargestellte Detailansicht des Gitters 64
zeigt, wie die Zylinder 70 im Gitter angeordnet sind.

15 Das Wachstum der Vielzahl von Elektronenstrahlssystemen
gemäß der Erfindung ermöglicht den Einsatz vieler
lokal, separat geführter Elektronenstrahlssysteme für
die Fertigung mittels Elektronenstrahl-induzierter
Deposition. Durch die Größe dieser miniaturisierten
20 Systeme wird eine Strahldichte im Bereich von etwa 250
 μm und darunter als Strahlabstand längs eines
kammförmigen Substrats erreicht. Durch Aufeinanderlegen
von derartig mit Elektronenstrahlssystemen versehenen
Substraten wird ein Abstand der Strahlen senkrecht zum
25 Kamm von wiederum z.B. etwa 250 μm erreicht, bzw. der
die Steuerelektronik tragenden Halbleiterdicke. Das
entspricht der Dicke eines Silizium-Wafers, aus welchen
die Substrate mit Basis-Chips gefertigt wurden. Diese
Strahldichte von etwa 250 x 250 μm Abstand in einer
30 Fläche von etwa 30 mm x 30 mm ermöglicht 1440 Strahlen,
die zur Herstellung von eben verteilten Bauelementen,
die mit einem derartigen Rastermaß gebraucht werden,
eingesetzt werden.

Beispielsweise kann die Rastermatrix zur Herstellung einer Widerstandsmatrix für eine flache Kamera mit Elektronenstrahl-induzierter Deposition eingesetzt und
5 diese in Massenproduktion hergestellt werden. Eine weitere vorteilhafte Anwendung derartiger Parallelstrahl-Systeme dient der Herstellung von Flachbildschirmen mit Elektronenquellen. Die Elektronenquellen bestehen hierbei je aus Emitter und
10 Extraktor. Damit müssen nur zwei Drahtelektroden hergestellt werden, von welchen eine eine feine Spitze hat. Dies gilt auch für die Herstellung von Linsenarrays durch Elektronenstrahlbelichtung und anderen eben in einem Rastermaß geforderten
15 Depositions- und Belichtungsstrukturen. Zum weiteren können derartige Systeme, da sie eigenständige Detektoren beinhalten, auch zum Vermessen von Strukturen in paralleler Anordnung der Elektronenstrahlen verwendet werden. Auf diese Weise
20 kann der Durchsatz der Elektronenstrahlmesstechnik in der Halbleiterfertigung mit hoher Auflösung vervielfacht werden.

Zudem ist das Schreiben von
25 Elektronenstrahlolithographiestrukturen mit viel höherer Schreibgeschwindigkeit mit einem mit dem erfindungsgemäßen Verfahren hergestellten Elektronenstrahlsystem-Array möglich, da verhindert wird, dass der Gesamtelektronenstrom durch eine Optik
30 fließt. Bei den im Raster angeordneten Elektronenstrahlssystemen fließt dagegen der Elektronenstrahlstrom durch 2^n Optiken (wenn n Generationen von Elektronenstrahlssystemen mit dem

erfindungsgemäßen Verfahren gemäß dem oben beschrieben ersten oder zweiten Verfahren hergestellt wurden).

Dadurch kann man die Schreibzeit t auf $t/2^n$ verringern, was für die Großflächenlithographie insbesondere für Nanostrukturen von großem Vorteil ist, beispielsweise beim direkten Schreiben von Masken oder Wafer-Belichtungen für die Produktion von integrierten Schaltungen.

- 10 Eine weitere vorteilhafte Anwendung der Vielzahl von Elektronenstrahlsystemen liegt in der Speichertechnik. Dazu werden Elektronenstrahlsysteme so aufgebaut, dass sie durch Ablenkung ihres Elektronenstrahls in einem Rasterfeld von beispielsweise etwa $100\text{ }\mu\text{m} \times 100\text{ }\mu\text{m}$ die
- 15 Speicherelemente, zum Beispiel elektrische oder magnetische Speicherzellen-Elemente von etwa 30 nm Durchmesser herstellen und auch ansprechen können. Durch geeignete Auswertung der Strahl-Antwort in Form von rückgestreuten oder gespiegelten Elektronen kann
- 20 der Speicherzelleninhalt gelesen und eine Speicherung der Information ohne die Verwendung beweglicher Teile ermöglicht werden. In der Fläche von etwa $100\text{ }\mu\text{m} \times 100\text{ }\mu\text{m}$ können sich beispielsweise 9 Millionen Speicherzellen befinden. Mit z.B. 1000 parallel
- 25 arbeitenden Elektronenstrahlsystemen, die mit dem erfindungsgemäßen Verfahren hergestellt wurden, wären 9 Gbit ansprechbar. Zudem kann durch die Verwendung von parallel arbeitenden Schreib- und Lesestrahlen die Datenübertragungsrate gegenüber herkömmlichen
- 30 Speichersystemen wie beispielsweise DRAM-Chips oder auch Festplatten erhöht werden. Gleichzeitig wird der Einsatz mechanisch bewegter Teile vermieden, was die Zuverlässigkeit der Anordnung erhöht.

5

B E Z U G S Z E I C H E N L I S T E

10	10-10 ¹¹	erste Elektronenstrahlssystem
	12-12 ¹¹	zweite Elektronenstrahlssysteme
	14	erstes Substrat
	16	zweites Substrat
	18-18 ¹¹	freie Flächen
15	20	Rechner
	22, 24	Piezoelemente
	26	Schaltungselemente
	28	Verdrahtungselemente
	30	Elektronenstrahlssystem
20	32	Fläche
	34	Anschlusspunkte
	36	Objekt
	38	Emitter
	40	Linsensystem
25	42	Extraktor-Linse
	43	Elektrode des ersten Quadrupols (Extraktor-Linse)
	44	Elektrode des ersten Quadrupols (Extraktor-Linse)
30	46	Elektrode des ersten Quadrupols (Extraktor-Linse)
	48	Elektrode des ersten Quadrupols (Extraktor-Linse)
	50	Elektrode des zweiten Quadrupols
35		(Fokusier- und Ablenk-Linse)

	52	Elektrode des zweiten Quadrupols (Fokusier- und Ablenk-Linse)
	54	Elektrode des zweiten Quadrupols (Fokusier- und Ablenk-Linse)
5	56	Elektrode des zweiten Quadrupols (Fokusier- und Ablenk-Linse)
	58	Gaspartikel
	60	einstellbarer Spannungsquelle
	62	Strom-Messgerät
10	64	Gitter
	66	Querstäbe
	68	Längsstäbe
	70	Zylinder (Faraday-Käfig)
	72	Leiterbahn
15		

5

PATENTANSPRÜCHE

- 10 1. Verfahren zur Herstellung von
Korpuskularstrahlssystemen (10-10¹¹¹¹, 12-12¹¹),
bei dem auf einem ersten Substrat (14)
mindestens ein erstes Korpuskularstrahlssystem
(10) mittels korpuskularstrahlinduzierter
15 Deposition **dadurch gekennzeichnet**, dass auf
mindestens einem zweiten Substrat (16)
mindestens ein zweites Korpuskularstrahlssystem
(12) von dem mindestens einen ersten
Korpuskularstrahlssystem (10) mittels
20 rechnergeführter korpuskularstrahlinduzierter
Deposition erzeugt wird, anschliessend auf dem
ersten Substrat (14) mindestens ein weiteres
erstes Korpuskularstrahlssystem (10¹) von dem
mindestens einen zweiten
25 Korpuskularstrahlssystem (12) mittels
rechnergeführter korpuskularstrahlinduzierter
Deposition erzeugt wird.
- 30 2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch**
gekennzeichnet, dass abwechselnd erste und
zweite Korpuskularstrahlssysteme (12¹, 12¹¹,
10¹¹, 10¹¹¹, 10¹¹¹¹) von den bereits auf den
Substraten (14, 16) existierenden zweiten bzw.
ersten Korpuskularstrahlssystemen erzeugt
35 werden.

3. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet**, dass das erste und das zweite Substrat (14, 16) derart zueinander versetzt angeordnet werden, dass den auf einem Substrat (14) bereits existierenden Korpuskularstrahlssystemen (10-10^{''''}) freie Flächen (18-18^{''''}) des anderen Substrats (16) gegenüberliegen, so dass die Korpuskularstrahlssysteme (10-10^{''''}) des einen Substrats (14) Korpuskularstrahlssysteme auf den freien Flächen (18-18^{''''}) des anderen Substrats (16) erzeugen können.
4. Verfahren nach Anspruch 3, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Substrate (14, 16) von einem Rechner (20) gesteuert positioniert werden.
5. Verfahren nach Anspruch 3 oder 4, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Substrate (14, 16) mittels Piezoelementen (22, 24) zueinander positioniert werden.
6. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass jedes Korpuskularstrahlssystem (10-10^{''''}, 12-12^{''}) nach seiner Erzeugung elektrisch getestet wird.
7. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass vor der Erzeugung von Korpuskularstrahlssystemen auf den Substraten Schaltungselemente (26), insbesondere Verdrahtungselemente (28) erzeugt werden, mit denen Korpuskularstrahlssysteme

zumindest teilweise elektrisch verbunden werden.

- 5 8. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass Korpuskularstrahlssysteme auf Anschlusspunkten (34), die auf einem Substrat (14) vorgesehen sind, erzeugt werden.
- 10 9. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass Korpuskularstrahlssysteme auf einem Substrat kammartig nebeneinander angeordnet werden.
- 15 10. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass erste und/oder zweite Korpuskularstrahlssysteme eine Bildauswertung von Bildsignalen, die durch Rasterung erzeugt werden, durchführen.
- 20 11. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass sowohl Fokussierung, Stigmatisierung und Ablenkung eines Korpuskularstrahls in einem automatischen
- 25 Ablauf erfolgen und für jedes Korpuskularstrahlssystem eine individuelle Fokussierung durchgeführt wird.
- 30 12. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Deposition mit rechnergeführter Ionenstrahl-induzierter oder Elektronenstrahl-induzierter Deposition durchgeführt wird.

13. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Deposition für das erste herzustellende Korpuskularstrahlssystem mit rechnergeführter rastersondenmikroskopischer Deposition mit
5 Niederspannung von etwa 100 V bis etwa 40 kV erfolgt.
14. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Korpuskularstrahlssysteme in Gruppen von einem Steuersystem umfassend eine Steuer- und Programmierelektronik angesteuert und kontrolliert werden.
10
15. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Korpuskularstrahlssysteme bis zu einer bestimmten Anzahl vollständig konfiguriert
15 aufgebaut und dann durch geeignete Zuführung von Gasen zum Aufbau weiterer Korpuskularstrahlssysteme als parallel arbeitende Blöcke von Korpuskularstrahlssystemen verwendet werden.
20
16. Verfahren nach Anspruch 15, **dadurch gekennzeichnet**, dass Einzelkämme von Korpuskularstrahlssystemen reproduziert und zu Fertigungssystemen zusammengesetzt und
25 konfiguriert werden.
30
17. Verfahren nach Anspruch 15 oder 16, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Blöcke gemeinsam

produziert werden, ohne dass sie weiterhin zusammengesetzt werden müssen.

18. Verfahren nach einem der vorangehenden
5 Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die
Korpuskularstrahlssysteme (siehe Figuren 3 bis
6) mit ihren Strahlachsen etwa senkrecht zur
Oberfläche des Substrats angeordnet sind.
- 10 19. Vorrichtung zur Herstellung von
Korpuskularstrahlssystemen (10-10^{''''}, 12-12^{''}),
mit einem ersten Substrat (14), wobei sich auf
dem ersten Substrat (14) mindestens ein mittels
rechnergeführter Korpuskularstrahl-induzierter
15 Deposition erzeugtes erstes
Korpuskularstrahlssystem (10-10^{''''}) befindet,
dadurch gekennzeichnet, dass mindestens ein
zweites Substrat vorgesehen ist, das erste und
das mindestens zweite Substrat (14, 16) derart
20 zueinander versetzt angeordnet sind, dass den
auf einem Substrat (14) bereits existierenden
Korpuskularstrahlssystemen (10-10^{''''}) freie
Flächen (18-18^{''''}) des anderen Substrats (16)
gegenüberliegen, so dass die
25 Korpuskularstrahlssysteme (10-10^{''''}) des einen
Substrats (14) Korpuskularstrahlssysteme auf den
freien Flächen (18-18^{''''}) des anderen
Substrats (16) erzeugen können.
- 30 20. Vorrichtung nach Anspruch 19, **gekennzeichnet**
durch einen Rechner (20), der programmtechnisch
eingerichtet ist, um die Anordnung der
Substrate (14, 16) zu steuern.

21. Vorrichtung nach Anspruch 20, **gekennzeichnet**
durch Piezoelemente (22, 24) an den Substraten
(14, 16), um diese rechnergeführt und nach
Bildauswertung der Abbildung der freien
Fußpunkte zueinander zu positionieren.
22. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 19 bis 21,
gekennzeichnet durch Testmittel, wie
Bildwiedergabe, elektrische Strom- und
Sekundärelektronendetektion und Anzeige, und
andere Anzeigen, die zum Testen jedes
Korpuskularstrahlssystems (10-10¹¹, 12-12¹¹)
auf den Substraten (14, 16) ausgebildet sind.
23. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 19 bis 22,
dadurch gekennzeichnet, dass das erste und
zweite Substrat (14, 16) ein Halbleiter,
insbesondere Silizium ist.
24. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 19 bis 22,
dadurch gekennzeichnet, dass das erste und
zweite Substrat (14, 16) ein Nichtleiter,
insbesondere Glas, Keramik oder Quarz ist.
25. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 19 bis 24,
dadurch gekennzeichnet, dass das Substrat
Schaltungselemente (26), insbesondere
Verdrahtungselemente (28) aufweist, mit denen
Korpuskularstrahlssysteme zumindest teilweise
elektrisch verbunden sind.
26. Vorrichtung nach Anspruch 25, **dadurch**
gekennzeichnet, dass die Schaltungselemente
insbesondere rechnergesteuerte
Korpuskularstrahlstromregler, Heizstromregler,

Korpuskularstrahlablenkverstärker,
Blendenablenkverstärker, Rastergenerator,
Funktionsgenerator mit Speicher,
Linseneinstellmittel,
5 Linsenspannungsverstärker,
Bildsignalverstärker, Astigmatismus-
Spannungsverstärker und/oder
Ablenkungsspannungsverstärker umfassen.

10 27. Vorrichtung nach Anspruch 25 oder 26, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Schaltungselemente insbesondere Rechner-Bausteine wie Zentraleinheit, Rechen-Speicher, Puffer-Speicher, Datenspeicher, und in
15 Hardwaregespeicherte Routinen ausführende Schaltungen sind, die zur Reproduktion der Systeme, der Bilderfassung und Auswertung und zur Herstellung spezieller neuartiger Systeme benötigt werden und diese ermöglichen.

20 28. Vorrichtung nach Anspruch 27, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Schaltungselemente die zur Reproduktion der Systeme, der Bilderfassung und Auswertung und zur Herstellung spezieller
25 neuartiger Systeme benötigt werden und diese ermöglichen im Multiplex-verfahren auf die einzelnen fertigenden Korpuskularstrahlssysteme zu deren Steuerung sequentiell aufgeschaltet werden können.

30 29. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 19 bis 28, **dadurch gekennzeichnet**, dass ein Substrat mindestens eine Fläche (32) mit einer Breite von etwa 2 μm bis etwa 2500 μm und einer Länge

von etwa 10 μ m bis zu etwa 100 mm für ein
Korpuskularstrahlsystem (30) aufweist.

- 5 30. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 19 bis 29,
 dadurch gekennzeichnet, dass ein Substrat (14)
 Anschlusspunkte (34) für
 Korpuskularstrahlssysteme aufweist.
- 10 31. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 19 bis 30,
 dadurch gekennzeichnet, dass
 Korpuskularstrahlssysteme auf einem Substrat
 kammartig nebeneinander angeordnet sind.
- 15 32. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 19 bis 31,
 dadurch gekennzeichnet, dass mindestens ein
 erstes und mindestens ein zweites
 Korpuskularstrahlsystem mit Mess- und
 Stabilisatorschaltungen versehen sind, die zum
 Messen und Stabilisieren von
20 Korpuskularstrahlung dienen.
33. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 19 bis 32,
 dadurch gekennzeichnet, dass Schaltungselemente
 vorgesehen sind, welche die
25 Korpuskularstrahlssysteme mit Spannung und Strom
 versorgen und mittels Speicher programmierbar
 und einstellbar sind.
- 30 34. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 19 bis 33,
 dadurch gekennzeichnet, dass die
 Korpuskularstrahlssysteme mit Mitteln versehen
 sind, die zum Ausführen eines automatisierten
 Prüfverfahrens ausgebildet sind, welches die
 Funktionsfähigkeit und Stabilität der Strahlung

und der Bildaufnahme und Bildauswertung
gewährleistet.

- 5 35. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 19 bis 34,
 dadurch gekennzeichnet, dass die
 Korpuskularstrahlsysteme mit bildanzeigenden
 Mitteln verbunden sind, wie einem Bildschirm
 oder Großbildschirm mit entsprechender
10 Bildaufteilung für die einzelnen
 Korpuskularstrahlsysteme, so dass die Arbeit
 des Systems überwacht und sein Ergebnis für
 anderweitige Weiterverwendung zur Verfügung
 gestellt werden kann.
- 15 36. Vorrichtung nach Anspruch 35, **dadurch ge-**
 kennzeichnet, dass die bildanzeigenden Mittel
 dateninformationsreduzierende Routinen
 aufweisen, um die Überwachung zu unterstützen,
 und die gewährleisten, dass im Wesentlichen nur
20 Fehler gespeichert werden müssen.
37. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 19 bis 36,
 dadurch gekennzeichnet, dass die
 Korpuskularstrahlsysteme Elektronenquellen oder
25 Gas- oder Flüssigkeitsionenquellen aufweisen.
38. Verwendung eines Verfahrens nach einem der
 Ansprüche 1 bis 18 und/oder einer Vorrichtung
 nach einem der Ansprüche 19 bis 37 zur
30 Herstellung von ebenen verteilten Bauelementen,
 insbesondere einer Widerstandsmatrix für eine
 flache Kamera, eines Flachbildschirms mit
 Korpuskularstrahlquellen, von Linsenarrays, von
 Hochstrom-Emitter-Arrays mit niedriger

Schaltspannung zur Steuerung des Stromes, von
mikro-Elektronenröhren aller Arten und einer
Schreib-/Leseanordnung für einen Speicher.

5

5

Z U S A M M E N F A S S U N G

- 10 Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Herstellung
von Korpuskularstrahlssystemen (10-10¹¹¹¹, 12-12¹¹),
bei dem auf einem ersten Substrat (14) mindestens ein
erstes Korpuskularstrahlssystem (10-10¹¹¹¹) mittels
Rechnergeführter korpuskularstrahlinduzierter
15 Deposition und auf mindestens einem zweiten Substrat
(16) mindestens ein zweites Korpuskularstrahlssystem
(12-12¹¹) von dem mindestens einen ersten
Korpuskularstrahlssystem (10-10¹¹¹¹) mittels
Rechnergeführter korpuskularstrahlinduzierter
20 Deposition erzeugt wird. Mit dem erfindungsgemäßen
Verfahren können eine Vielzahl von
Korpuskularstrahlssystemen in relativ kurzer Zeit
produziert werden.
- 25 (Fig. 1)